

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(5)

(11)Publication number : 2001-296483

(43)Date of publication of application : 26.10.2001

---

(51)Int.Cl. G02B 26/02  
G02B 6/26

---

(21)Application number : 2001-083938

(71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 23.03.2001

(72)Inventor : GREYWALL DENNIS S

(30)Priority

Priority number : 2000 536344 Priority date : 25.03.2000 Priority country : US

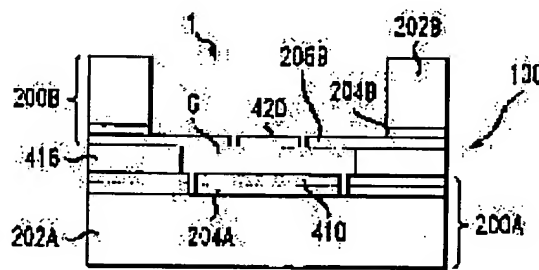
---

**(54) ARTICLE CONSISTING OF OPTICAL HOLLOW**

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an article consisting of an optical hollow having a micron size suitable for making an optical interface effect.

**SOLUTION:** The article consisting of an optical hollow includes two mirrors placed parallel to each other at an interval, and at least one mirror is preferably movable. In some embodiments, both mirrors are formed of single crystal silicon to which stress is not applied. The single crystal silicon to be used in some embodiments is supplied preferably from a single crystal silicon (SOI) wafer on an insulating material. A first mirror is patterned on the thin silicon layer of a first SOI wafer. A pillar is placed on the thin silicon layer near the first mirror. The thin silicon layer of a second SOI wafer is attached to the pillar so that a gap exists between the thin silicon layers keeping two intervals. The thin silicon layer of the second SOI wafer is released by removing the thick silicon layer and an embedded oxide from the wafer, and thus forms a movable mirror.



---

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 16.07.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

【物件名】

甲第 5 号証

【添付書類】

12 225 甲第 5 号証

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2001-296483

(P 2001-296483A)

(43) 公開日 平成13年10月26日 (2001. 10. 26)

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

テマート (参考)

G 0 2 B 26/02

G 0 2 B 26/02

E

6/26

6/26

審査請求 未請求 請求項の数 27 O L

(全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2001-83938 (P2001-83938)

(22) 出願日 平成13年3月23日 (2001. 3. 23)

(31) 優先権主張番号 09/536344

(32) 優先日 平成12年3月25日 (2000. 3. 25)

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 596077259

ルーセント テクノロジーズ インコーポ  
レイテッドLucent Technologies  
Inc.アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ  
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー  
600-700

(74) 代理人 100064447

弁理士 岡部 正夫 (外11名)

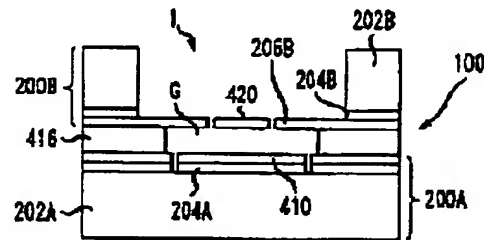
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光空洞からなる物品

(57) 【要約】

【課題】 ミクロンサイズの寸法を有する、光インターフェース効果を作るのに適した光空洞を特徴とすること。

【解決手段】 光空洞からなる物品は、互いに間隔が置かれて平行な2つのミラーを含み、少なくとも1つのミラーは、好適に可動になっている。いくつかの実施例では、両ミラーは、応力が加えられていない単結晶シリコンから形成される。いくつかの実施例で使用される単結晶シリコンは、好適には絶縁物上単結晶シリコン (SOI) ウェハから供給される。本発明による方法では、第1のミラーが、第1のSOIウェハの薄いシリコン層にパターン化される。第1のミラーの近くの薄いシリコン層上に、支柱が配置される。第2のSOIウェハの薄いシリコン層は、2つの間隔を置かれた薄いシリコン層間にギャップがあるように、支柱に取り付けられる。第2のSOIウェハの薄いシリコン層は、そのウェハから薄いシリコン層および埋設された酸化物を除去することにより解放されて可動ミラーを形成する。



(2)

特開 2001-296483

2

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光信号を受信するように動作可能な光空洞からなる物品であって、上記光空洞は、単結晶シリコンからなる第 1 の可動ミラーと、単結晶シリコンからなり、上記可動ミラーから間隔が置かれてそれと平行関係にある第 2 のミラーとを含む物品。

【請求項 2】 請求項 1 記載の物品において、前記第 1 の可動ミラーは、前記第 1 の可動ミラーにおいて測定された場合、前記光信号の波長の  $1/4$  の奇数倍の厚さを有する物品。

【請求項 3】 請求項 2 記載の物品において、前記第 2 のミラーは、前記不可動ミラーにおいて測定された場合、前記光信号の波長の  $1/4$  の奇数倍の厚さを有する物品。

【請求項 4】 請求項 1 記載の物品において、前記第 1 の可動ミラーは、第 1 の絶縁物上単結晶シリコンウェハの一部からなる物品。

【請求項 5】 請求項 4 記載の物品において、前記第 2 のミラーは、第 2 の絶縁物上単結晶シリコンウェハの一部からなる物品。

【請求項 6】 請求項 5 記載の物品において、前記第 1 の絶縁物上単結晶シリコンウェハは、第 1 の光ファイバを収容して受動的に整列させるガイドを有する物品。

【請求項 7】 請求項 6 記載の物品において、前記第 2 の絶縁物上単結晶シリコンウェハは、第 2 の光ファイバを収容して受動的に整列させるガイドを有する物品。

【請求項 8】 請求項 1 記載の物品において、さらに、前記第 1 の可動ミラー及び前記第 2 のミラーに電気的に接続された制御電圧源を含む物品。

【請求項 9】 請求項 8 記載の物品において、さらに、前記第 1 の可動ミラーと光通信する第 1 の光ファイバを含む物品。

【請求項 10】 請求項 9 記載の物品において、さらに、前記第 2 のミラーと光通信する第 2 の光ファイバを含む物品。

【請求項 11】 請求項 8 記載の物品において、前記物品はスペクトルコライザであり、該スペクトルコライザは複数の光空洞からなり、各光空洞は、単結晶シリコンからなる第 1 の可動ミラーと、上記可動ミラーから間隔が置かれてそれと平行関係にある第 2 のミラーとからなる物品。

【請求項 12】 請求項 11 記載の物品において、前記第 2 のミラーは全て、第 1 の絶縁物上シリコンウェハ上の単結晶シリコンの薄い層で限定される物品。

【請求項 13】 請求項 12 記載の物品において、前記第 1 のミラーは全て、第 2 の絶縁物上シリコンウェハ上の単結晶シリコンの薄い層で限定される物品。

【請求項 14】 第 1 の絶縁物上シリコン (SOI) ウェハの薄いシリコン層で第 1 のミラーを限定し、

第 2 の SOI ウェハの薄いシリコン層で第 2 の可動ミラーを形成し、

上記第 1 の SOI ウェハの上記薄いシリコン層または上記第 2 の SOI ウェハの上記薄いシリコン層のうちの一方に支柱を配置し、

上記支柱を介して上記第 1 及び第 2 の SOI ウェハを連結することにより形成される物品。

【請求項 15】 請求項 14 記載の物品において、前記 SOI ウェハのうちの一方の SOI ウェハの上記薄いシリコン層は、前記支柱に取り付けられている物品。

【請求項 16】 光空洞を有する物品を形成する方法であって、

第 1 の絶縁物上シリコン (SOI) ウェハの薄いシリコン層上に第 1 のミラーを限定するステップと、上記第 1 の SOI ウェハまたは第 2 の SOI ウェハ上に支柱を形成し、該支柱を上記第 1 または第 2 の SOI ウェハのうちの少なくとも一方の SOI ウェハの上記薄いシリコン層に連結することによって、薄いシリコン層を有する第 2 の SOI ウェハを上記第 1 の SOI ウェハに取り付けるステップとからなる方法。

【請求項 17】 請求項 16 記載の方法において、支柱を形成するステップは、前記第 1 または第 2 の SOI ウェハのうちの少なくとも一方の上に電気絶縁材料を、前記光空洞の望ましい高さに等しい高さまで配置するステップを含む方法。

【請求項 18】 請求項 17 記載の方法において、前記支柱を配置するステップは、前記第 1 の SOI ウェハの前記薄いシリコン層上に酸化物層を配置するステップからなる方法。

【請求項 19】 請求項 18 記載の方法において、前記連結するステップは、前記第 2 の SOI ウェハを前記支柱に接合するステップからなる方法。

【請求項 20】 請求項 16 記載の方法において、さらに、前記第 1 の SOI ウェハから、埋設された絶縁物層の一部と薄いシリコン層の一部とを除去するステップを含む方法。

【請求項 21】 請求項 20 記載の方法において、前記除去するステップは、さらに、光ファイバを収容して前記第 1 のミラーと受動的に整列させるための受動整列ガイドを、前記第 1 の SOI ウェハに形成するステップを含む方法。

【請求項 22】 請求項 21 記載の方法において、さらに、前記光ファイバを収容するステップを含む方法。

【請求項 23】 請求項 16 記載の方法において、前記第 2 の SOI ウェハの薄いシリコン層及び埋設された絶縁物層の一部を除去することにより、前記第 2 の SOI ウェハの前記薄いシリコン層を解放するステップを含む方法。

【請求項 24】 請求項 23 記載の方法において、除去するステップは、さらに、第 1 の光ファイバを収容して

3

解放された薄いシリコン層と受動的に整列させるための受動整列ガイドを、前記第2のSOIウェハに形成するステップを含む方法。

【請求項25】 請求項24記載の方法において、さらに、前記第1の光ファイバを収容するステップを含む方法。

【請求項26】 請求項24記載の方法において、さらに、第2の光ファイバを収容して前記第1のミラーと受動的に整列させるための受動整列ガイドを、前記第1のSOIウェハに形成するステップを含む方法。

【請求項27】 請求項26記載の方法において、さらに、前記第1及び第2の光ファイバを収容するステップを含む方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般に光デバイスに関し、特に、ミクロンサイズの寸法を有し、光インターフェース効果を作るのに適する光空洞に関する。

【0002】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】制御可能な光インターフェース効果を作るのに適する光空洞

(以下、簡単に“光空洞”という)は、技術上知られ、使用されている。この制御可能な光インターフェース効果は、たとえば、光信号を変調、減衰、等価、ろ波するために使用されている。

【0003】光空洞のタイプの1つは、ファブリー=ペローエタロンとして知られており、通常、あるギャップで分離された2つの高いおよび等しい反射率の誘電体ミラーからなる。ミラーは、平行になるようにいつも整列されており、処理されるべき光信号の波長の $1/4$ に等しい呼び厚さを有する。エタロンは、ミラーの間隔(すなわち、ギャップ)とミラー特性の関数である反射率(たとえば、制御可能な光インターフェース効果)を示す。

【0004】典型的に、エタロンのミラーのうちの一方は可動になっているが、他方のミラーは可動になっていない。可動ミラーは、たいいていの場合、可動ミラーの上下にある電極に電圧を印加することにより移動する。可動ミラーが、不可動ミラーの方へ押し進められると、ギャップが変わる。このようにして、エタロンの反射率は

制御可能に変えられる。

【0005】精密加工技術の出現により、ミクロンで測定される寸法を有する光空洞を備えたデバイスが製作されている。このようなミクロンサイズのデバイスの光空洞は、通常、シリコン窒化物またはポリシリコンの層を用いて表面精密加工技術で形成される。このような表面精密加工技術のうちの典型的なものは、CHRONOS(以前は、ノースカロライナ州のMEMS Microelectronics Center)より提供されるものである。

(3)

特開2001-296483

4

【0006】CHRONOSは、他の工程のなかで、3ポリシリコン層表面精密加工工程を提供している。3ポリシリコン層の第1の層(POLY0)は“解放不可能”であり(すなわち、不可動のままであり)、シリコンウェハ等の基板上へのアドレス電極と局部配線のパターン化のために使用される。他の2つのポリシリコン層(POLY1およびPOLY2)は、“解放可能”であり(すなわち、可動にさせられており)、そこで、機械的構造(たとえば、可動ミラー素子等)を形成するのに使用される。

【0007】解放は、POLY1層とPOLY0層の間またはPOLY1層とPOLY2層の間に堆積された犠牲材料、典型的には酸化物層、をエッチングで除去することによって達成される。エッチングは、下にあるポリシリコン層の上に“浮かぶ”薄膜つまりポリシリコン層を生じ、それらの間に空洞が形成される。浮かんだ、つまり“解放された”部分は、(たとえば、電圧の印加により)可動になっている可能性がある。適当な寸法にされている場合、このような配置は、ファブリー=ペローエタロンまたは他のタイプの光空洞を作るのに適している。

【0008】このような光空洞を組みこんだ製品を製造する会社は、CHRONOS等の商業的なMEMS封物工場よりむしろ、自身の“社内”製作工程を使用して、可動ミラーとして機能する浮遊構造を形成することができる。このような社内工程は、典型的に、多数のポリシリコン層、シリコン窒化物層および犠牲層(たとえば、酸化物)の、堆積と典型的にフォトリソグラフィ技術による選択的除去を含む。

【0009】外部供給者から得られようと社内で作られようと、上述のような光空洞およびその製作方法は、種々の障害を経験する。これらの障害のいくつかは、下記に説明される。

【0010】このような障害の一番目のものは、材料選択に関連している。詳細には、可動ミラーとして役立つポリシリコンまたはシリコン窒化物層は、典型的に、

“応力が加えられる”層(シリコン窒化物に対する引張り応力と、ポリシリコンに対する圧縮応力)である。この応力は、下にある犠牲層(たとえば、シリコン二酸化物等)上へのポリシリコンまたはシリコン窒化物の堆積/成長の間に起こる温度循環から生じる。なぜなら、犠牲層は、必然的に、上にあるポリシリコン層またはシリコン窒化物層の熱膨張係数と異なる熱膨張係数を有するからである。

【0011】可動ミラー/共振空洞の機械的性質、たとえば、その速度と切り換え電圧は、可動ミラーにおける応力のレベルに依存しており、応力が高くなると、少なくとも潜在的に大きな速度が生じる。不幸にして、このような応力は、解放された構造を“曲げたり”または

50

“ゆがませたり”する傾向があり、その結果、デバイス

5

応答が予測できなくなったり、信頼性の問題が生じたりする。

【0012】さらに、光空洞を形成する先行技術の“解放”タイプ工程は、典型的に、可動層（ミラー）を形成すべき層の下にある犠牲層を除去する、時期を合わせたウェットエッチングに頼っている。エッチングステップのタイミングの逸脱は、可動ミラーのサイズ（すなわち直径）を変化させる。可動ミラーのサイズ、したがって、特定の応答を有する空洞を反復可能に作る能力は、精密に時期を合わせたエッチングの高精度合いに依存している。

【0013】電気的絶縁物であるシリコン窒化物から形成された稼動ミラーを有する光空洞は、その上に配置される電極を持たなければならない。したがって、その結果生じる構造は、2つの伝導体（すなわち、上にある電極と下にある電極）で挟まれた絶縁物（すなわち、シリコン窒化物）を有する。動作時、電荷は、シリコン窒化物層の下部表面に蓄積する傾向がある。シリコン窒化物層を完全に放電させるのは困難なので、稼動ミラーの制御が問題になってくる。したがって、この技術は、改善された製法と、それから生じる改善された光空洞から恩恵を受ける。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明のいくつかの実施例は、先行技術の欠点のいくつかのない、光インターフェース効果を発生する光空洞を提供する。特に、この光空洞と、このような空洞を形成する方法のいくつかの実施例は、

- ・ 応力が加えられる層を組み込まず、
- ・ 時期を合わせたエッチングを必要とせず、
- ・ 電極間に絶縁物を備えていない。

【0015】本発明によるこの空洞と、このような空洞を含む改善された光デバイスは、2つのミラーを含み、そのうちの1つは好適に可動になっており、互いに間隔が置かれ平行になっている。いくつかの実施例では、両ミラーは、応力が加えられていない単結晶シリコンから形成される。

【0016】本発明のいくつかの実施例で使用される単結晶シリコンは、好適には、絶縁物上の単結晶シリコン（single crystal silicon-on-insulator）（以下、SOIという）ウェハから得られる。このようなウェハは、2つのシリコン層間に挟まれた埋設絶縁物層を含む。層の一方は、可動および不可動ミラーを形成するのに使用されるシリコンの“薄い”（すなわち、0.1乃至1.5ミクロン）層である。2つの層のうちの他方の層は、シリコンの“厚い”層（すなわち、0.5乃至0.7ミリメートル）である。

【0017】本発明による一実施例の方法では、不可動ミラーは、第1のSOIウェハの薄いシリコン層にパターンが描かれる。ミラー近くの薄いシリコン層の上に、

(4)

特開2001-296483

6

支柱が配置される。第2のSOIウェハの薄いシリコン層は、2つの間隔を置いた薄いシリコン層の間にギャップがあるように、支柱に取り付けられる。

【0018】第2のSOIウェハの薄いシリコン層は、このウェハからシリコンの厚い層と埋設された酸化物を除去することにより、解放されて可動ミラーを形成する。第1のSOIウェハにパターンが描かれた可動ミラー、不可動ミラー、およびそれらの間のギャップは、光空洞を限定する。

【0019】単結晶SOIウェハにおいて、可動ミラーを形成する薄いシリコン層は、“ゼロ”応力になっており、したがって、先行技術の応力が加えられる層のゆがみ/曲がり問題が回避される。さらに、空洞または解放を限定するために除去を要する多数の層が、“埋設”されていないので、ウェットエッチングが必要とされない。むしろ、反応イオンエッチングが、このようなエッチングステップに好適に使用され、それにより、ウェットエッチングの重要なタイミング問題が回避される。シリコンミラーは伝導性なので（ミラーは、通常、この伝導率を改善するためにドーパされる）、シリコン窒化物ミラーで経験される電荷蓄積問題が、回避される。

【0020】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の一実施例による光空洞100を含む物品1を示す。例示的な光空洞100は、好適に可動になっているミラー420と、不可動ミラー410と、それらのあいだで限定されるギャップGとからなる。支柱416は、SOIウェハ200Aおよび200Bの取付ポイントとして使用され、さらに、可動ミラー420と不可動ミラー410間でギャップGを作って維持するように機能する。

【0021】周知の理論にしたがって、ミラー410および420は、好適に以下の式[1]で与えられる厚さtを有する。

$$[1] \quad t = m\lambda / (4n)$$

ここで、mは奇数の整数、λは波長（多波長信号のピーク、中心または平均）、nはミラーを構成する材料の屈折率である。

【0022】式[1]にしたがって、ミラー厚さtは、ミラーで測定された場合の光空洞10で受信されるべき光信号の波長の1/4の奇数倍に等しい。上述のように“4分の1波”ミラーとすれば、光空洞100は、ギャップGが光信号の波長の1/4の偶数倍である場合、反射率が相対的な最小限を示すだろう。光空洞100の理論上の性能は、図2Aに示される。

【0023】光空洞100は、ミラーが4分の1波層ではない実施例において、光干渉効果が発生することがあることが認識されるべきである。このような実施例では、相対反射率の最大限および最小限は、ギャップGが上記に指定されたサイズと異なるサイズを有する場合に起こる。このような異なるサイズは、当業者により容易

50

7

に決定される。

【0024】基本的なファブリー＝ペローエタロンから逸脱する構造を有する光空洞もまた知られていることが、当業者により認められるだろう。空洞性能の態様をある程度改善する目的で行われるこのような逸脱は、たとえば等しい反射率を有していないミラーを用いた、公称の4分の1波ミラー厚さからの逸脱と、2つのミラーの屈折率間の関係に一定の数学的制約を課することを含む。この教示による光空洞のいくつかの実施例は、このような逸脱を含んでいる。

【0025】この教示によれば、2つの単結晶SOIウェハ200Aおよび200Bは、好適に、光空洞100を製作するのに使用される。製作の容易さとデバイス性能に関する前述した利点は、SOIウェハを使用することから、より好適には単結晶SOIウェハを使用することから生じる。図2Bは、従来のSOIウェハ200を示す。

【0026】SOIウェハ200は、大きなつまり“厚い”シリコン層202と、その上に配置された電気絶縁層204と、絶縁層204上に配置された“薄い”シリコン層206とを有する。

【0027】絶縁層204は、典型的に、厚いシリコン層202（すなわち、シリコンウェハ）上に成長させられた酸化物層（すなわち、シリコン二酸化物）である。絶縁層204は、2つのシリコン層の間に挟まれているので、“埋設された”層と呼ばれることがある。絶縁層204は、望ましい通りに、約0.2乃至3ミクロンの範囲内にある厚さを有する。

【0028】薄いシリコン層206は、好適には、水素イオン注入工程により絶縁層204上に“成長”させられる。薄いシリコン層206は、望ましい通りに、約0.1乃至1.5ミクロンの範囲の厚さを有する。上述のように形成されたSOIウェハは、マサチューセッツ州のSOITEC USA社から市販されている。厚いシリコン層202は、シリコンウェハの厚さとして典型的な、通常、ウェハ直径の関数としての約525ミクロン乃至725ミクロンの厚さを有する。このようなSOIウェハに関するさらなる情報は、SOITECウェブサイトの<http://www.soitec.com>から入手できる。

【0029】1.55ミクロンの典型的な光通信波長で、シリコンミラーを用いると仮定すると、4分の1波ミラーは、厚さ $t=1.55\text{m}/(4\times 3.5)=0.11\text{ミクロン}$ （ここで、 $m=1$ ）を有する。上述したように、（精密さの高い度合いの）0.11ミクロンの厚さの薄いシリコン層206を有するSOIウェハが、SOITEC USA等の製作者から容易に得られる。

【0030】本発明によれば、埋設された層204は、好適には、薄いシリコン層206と比較できる厚さ（たとえば、典型的には、薄いシリコン層206の厚さの約

10

特開 2001-296483

8

1.5乃至3倍）を有する。

【0031】3.5の屈折率を有するシリコンから形成されたミラーと、1.55ミクロンの波長を有する光信号とすれば、光空洞100は、 $1.55\text{m}/(4\times 1)=0.39\text{ミクロン}$ （ここで、 $m=1$ であり、空気がギャップ内にある）の反射率の相対最大限を示すだろう。したがって、一実施例において、支柱416は、可動ミラー420がその静止（非活性）位置にある時、可動ミラー420と不可動ミラー410を0.39ミクロンだけ分離する。

【0032】例証を続けると、可動ミラー420と不可動ミラー410を横切って電圧をかけることにより、ミラー420をミラー410の方へ移動せしめる静電引力が発生し、それにより、ギャップGが減少する。この例では、ギャップGが減少するにつれて、光空洞100の反射率は、可動ミラーが、不可動ミラー410の方へ $1/4$ の間隔だけ移動した時相対最大限の方へ減少する。

【0033】与えられた例では、可動ミラー420は、 $1/4$ の間隔だけ移動すると、好適に不可動ミラー410に接触するだろう。したがって、ギャップGは、この接触を避けるのに適切なサイズ（たとえば、 $3\text{m}/4$ ）にされるべきである。さらに、電気絶縁材料のわずかな“隆起”をミラーの片方または両方に配置することにより、ミラーが互いに接触するのを防ぐことができる。

【0034】図2Cは、可動ミラーの共振周波数を、1.55動作波長に対するその厚さDと厚さtの関数として示す（理論上の）プロットである。

【0035】図3は、この教示にしたがって光空洞100を形成する例示的な方法300を示す。この方法は、図4A-4Hおよび5A-5cに関して以下に説明される。方法300で用いられる作業は、標準的な周知の処理技術、たとえば、堆積および/または成長手法、パターン化およびエッチング技術、ウェハ接合技術を含む。これらの手法および技術は周知であり、当業者は、ここに提供される原理にしたがって、光空洞とこのような光空洞を用いたデバイスとを形成するために、用いられるべき材料の関数として、このような技術を適切に線形して適用することができる。これらの技術は周知なので、適切な場合にそれらの使用を述べる以外は、ここでは説明されない。

【0036】また、本発明方法300のステップを示す作業ブロックと、光空洞100の製作の段階を示す図面は、特定の順番で提供され、示された順番は例示であり、制限されるものではない。本発明の他の実施例において、図示の作業の多くは、図示のものと異なる順番に実行可能であることが、当業者には明らかだろう。

【0037】方法300の作業302によれば、ミラー／電極は、第1のSOIウェハで限定される。作業302は、それぞれ、第1のSOIウェハ200Aの平面図および側面図である図4Aおよび4Bに示されている。

40

50

(6)

特開2001-296483

10

これらの図面に示されているように、電接パッド408とミラー410は、薄いシリコン層206Aの電気絶縁領域によって薄いシリコン層の残部から限定されている。この電気絶縁は、一実施例では、薄いシリコン層206A中に溝412をエッチングすることによって達成される。エッチングは、好適には、技術上周知の反応イオンエッチング(RIE)で行われるが、他のエッチング手法、たとえばウェットエッチングやドライエッチングを適宜使用することができる。

【0038】方法300の作業304によれば、支柱416が、第1のSOIウェハ200A(または第2のSOIウェハ200B、または第1および第2のSOIウェハの両方のいずれか)上に配置される。前述のように、光空洞100を限定する2つのミラー410および420は、正確に限定されたギャップGだけ離れている。図示の実施例では、ギャップGは、作業304に示されるように、ミラー間に支柱416を配置することにより形成される。

【0039】図示の実施例では、支柱416は、図4Cおよび4Dに示されるように、薄いシリコン層206A上に材料の層414を成長/堆積させ、次いで、層414に適当にパターンを描いてエッチングすることにより形成される。支柱416の高さは、(可動ミラー420がその静止状態にある時に測定されるように)ギャップGのサイズを決定する。その結果として、層414は、ギャップGとして適当な高さまで堆積/成長する。

【0040】層414は、好適には、薄いシリコン層206A上に成長した酸化物からなり、これらの実施例では、RIEは、好適には、層414をエッチングするのに使用される。溝412は、層414を構成する材料が充填されているので、層414のエッチングは、溝を通り(なぜなら、シリコンは、それを停止させるために存在していない)、次いで埋設された絶縁物層204Aを通して厚いシリコン層202Aまで延長する(図4D参照)。

【0041】例示の方法300のいくつかの実施例では、SOIウェハ200Aは、さらに処理されて追加の特徴を提供し、光空洞100になる。このさらなる処理は、この明細書では、任意の作業310、312と図4Hおよび5A-5Cの説明に関して後で説明される。このさらなる処理は、SOIウェハ200Aが第2のSOIウェハ200Bと連結される前または後に実行することができる。他の実施例では、ウェハ200Aの処理は、作業302および304の完了で終わる。

【0042】いくつかの実施例では、例示的な方法300は、第1のSOIウェハ200Aを第2のSOIウェハ200Bに連結する(作業306)ことにより継続する。他の実施例では、任意の処理作業が、連結作業306の前に実行される。連結作業306の説明は、任意の処理作業314の説明後まで留められる。作業314で

は、第2のSOIウェハ200Bの薄いシリコン層206Bに、開口部が形成される(図4Eおよび4F参照)。

【0043】十分な緩衝がない場合、可動ミラー420は、(その静止位置からその作動位置までまたはその逆に移動後)鳴動または振動する傾向がある。光空洞の光学特性は、可動ミラーの位置の関数として変化するもので、この鳴動は、光空洞の性能に影響を与える。

【0044】約1MHz以下の動作周波数では、(密閉された)光空洞内に典型的に存在するガス(たとえば、空気、アルゴン等)は、十分な緩衝を提供する。特に、可動ミラー420が移動するにつれてガス中に発生する二またの流れは、膜の運動エネルギーを下向きに消失させる。しかしながら、約1MHz以上の周波数では、この消失メカニズムは、ガスが可動ミラーの真下から流れ出る時間がないので、無効になる。むしろ、光空洞内のガスは、可動ミラー420が下向きに移動するにつれて圧縮され、その結果として、ガスは、スプリングのようなエネルギーを蓄積する。その結果、可動ミラーが鳴動する。

【0045】したがって、光空洞100が、約1MHz以上の周波数で動作することになる実施例に対しては、例示の方法300の作業314にしたがって、可動ミラー420に、開口部が好適に形成される。開口部つまり緩衝用穴418は、鳴動を実質的に防止するように(すなわち、空洞内のガスが、時期を合わせて穴を通して逃げることで、上述の圧縮が避けられるように)十分な緩衝の大きさを提供するのに適切な個数とサイズで用意される。緩衝用穴418は、パターンが描かれ、たとえば、ウェットエッチングまたはRIEを用いてエッチングされる。緩衝用穴の設計に関するさらなる詳細は、米国特許第5,659,418号および第5,751,469号において提供されており、これらは、参照によりここに含まれる。

【0046】さらなる任意の処理作業(すなわち、SOIウェハ200Bに受動整列ガイドを形成するための作業316)を、作業306の前または後に実行して追加の特徴を提供し、光空洞100を生じさせることができる。このさらなる処理は、図4H、5A-5Cおよび6A-6Cに関してこの明細書において後で説明される。

【0047】次に、作業306の説明に移ると、第1のSOIウェハ200Aが、第2のSOIウェハ200Bと連結される。2つのミラー410および420がギャップGだけ離れている光空洞100を形成するために、一方のSOIウェハの薄いシリコン層が支柱416に取り付けられる。図面では、支柱416は、第1のSOIウェハ200A上に形成されているものとして示されている。したがって、作業316では、第2のSOIウェハ200Bの薄いシリコン層206Bは、支柱416と整列されて連結される。この取り付け作業は、好適に

11

は、標準的なウェハ接合技術によって行われる。図4Gは、ミラー410および420が平行に対向した関係になりかつギャップGだけ離れるように、互いに連結された2つのSOIウェハを示す。

【0048】励磁の方法300におけるこの時点まで、ミラー420は、解放されなかった。本発明のいくつかの実施例において、光空洞100は、2つの不可動ミラーを備えているが、より大きな効用が、可動ミラーを備えた空洞によって提供される。そのため、方法300のいくつかの実施例では、第2のSOIウェハの薄いシリコン層206bの部分は、作業308にしたがって、解放され、それにより、可動ミラー420が限定される。例示された実施例では、ミラー420は、2つのSOIウェハが連結された後まで解放されないが、他の実施例では、ミラー410が、連結作業前に解放されることが理解されるべきである。

【0049】図4Hに示されるように、厚いシリコン層202Bと埋設された絶縁物層204の一部が除去されて、薄いシリコン層206bの部分が解放される。層202B及び204Bは、好適には、深いRIEを用いて除去される。参照によりここに含まれる米国特許第5,501,893号を参照されたい。

【0050】前に示されたように、いくつかの実施例では、第1及び/または第2のSOIは、既に説明した作業に加えて処理作業にさらされる。このような作業は、以下に説明されるように、その結果生じる光空洞に追加の特徴を提供するために実行される。

【0051】第1のSOIウェハに関連して、いくつかの実施例では、埋設された絶縁物層204Aと厚いシリコン層202Aの一部は、作業310において、第1のミラー410の“下”から除去される。作業310は、第1のミラー410に至る穴または溝422を生じる。このような層を除去すると、ミラー410にしたがって光空洞100の反射率が改善される。図2Aに示される空洞反射率のプロットは、このような溝の存在に基づいている。ミラー410の下にある層の一部が除去されると、ミラー410は、ミラー410及び420を横切る電圧の印加により多少可動になることがある。この効果は、ギャップGのサイズを所定量変えるための電圧必要条件を単に下げるだろう。

【0052】さらに、いくつかの実施例では、受動整列ガイドが、第1のSOIウェハ200Aに形成される(すなわち、作業312)か、または、第2のSOIウェハ200Bに形成される(すなわち、作業316)か、または両方のSOIウェハに形成される。この受動整列ガイドは、光ファイバを収容し、光ファイバをミラーの一方と受動的に整列させるように物理的に適合される。1つ以上の受動整列ガイドを有する光空洞100の種々の実施例は、図5A~5Cに示される。

【0053】図5Aは、第2のSOIウェハ200Bに

(7)

特開 2001-296483

12

ある受動整列ガイド526を示す。受動整列ガイド524は、組み立て中に光ファイバOF1が可動ミラー420に接触するのを防ぐための“止め部”として機能する縁526を含む。受動整列ガイド524は、解放工程308の間に形成することができる。これを実行するために、2段階エッチングが好適に使用される。受動整列ガイド524を形成するために2段階エッチングを実行する技術は、図6A-6Cに示される。

【0054】図6Aは、支柱416上に配置された、受動整列ガイド524を含む第2のSOIウェハ200Bを示す。第1のSOIウェハ200Aは、明快さのために省略されている。受動整列ガイド524のファイバ収容部は、直径D2および高さH2を有する。縁526は、直径D1および高さH1を有する。

【0055】図6Bは、第1段階エッチングで除去される厚いシリコン層202Bの部分を示す。除去される部分は、縁526で限定される開口部に対応する直径D1および高さH1を有する。第1段階エッチングは、RIEで実行することができる。

【0056】図6Cは、第2段階エッチングを示し、ここでは、厚いシリコン層202Bのさらなる部分と、埋設された絶縁物層204Bの一部が除去される。次に、エッチングは、受動整列ガイド524のファイバ収容部の直径に対応する直径D2を有する領域を除去するように広くされる。厚いシリコン層202Bの上縁630は、受動整列ガイド524のファイバ収容部の高さに対応する間隔H2だけエッチングされる。厚いシリコン層202Bの上縁630の中央領域は、第1段階エッチングの結果として、上縁630の外側領域より低くなる。上縁630は、第2段階エッチングにより間隔H2だけ一様に低くなるので、縁526は、稼動ミラー420上に直接形成される。受動整列ガイド524を作るための2段階エッチングは、可動ミラー420を解放(形成)することに注目されたい。厚いシリコン層20Bを除去するために、深いRIEが好適に使用される。埋設された絶縁物層204Bを除去するために、ドライエッチングまたはウェットエッチングを用いることができる。

【0057】図5Bは、第1のSOIウェハにある受動整列ガイド528を示す。受動整列ガイド528は、好適にはRIEを用いて形成されるが、他の技術を適宜に使用しても良い。図5Bに示される実施例のように、穴422が存在する場合は、穴には、好適に屈折率整合用エポキシ樹脂が充填される。

【0058】図5Cは、2つの受動整列ガイド524及び528を備えた光空洞100を示す。受動整列ガイド524は、可動ミラー420を用いる光通信の際に光ファイバOF1を配置し、受動整列ガイド528は、不可動ミラー410を用いる光通信の際に光ファイバOF2を配置する。

【0059】前述したように、方法300の種々の作業



13

が実行される順番は、実質的に入れ替え可能である。すなわち、図3は、処理中（すなわち、2つのSOIウェハが連結される前）の特定の時間に起こる任意の作業310、312、314及び316を示しており、これらの作業のいくつかまたは全部は、SOIウェハが連結された後に実行することができる。そして、2つの不可動ミラーを有する光空洞が望ましい範囲まで、可動ミラー420を形成する解放作業308は実行されない。

【0060】上記の教示は、光空洞を含む様々なデバイスを作るのに適用することができる。たとえば、この教示による光変調器は、稼動ミラー420と固定ミラー410を接続する制御電圧源（図示しない）を電気接続することにより生じる。

【0061】複数の光空洞を含むより複雑な構造を、方法300にしたがって形成することができる。このような構造の一例は、図7A~7Iに示されるスペクトルコライザ700である。

【0062】複数の通信チャンネルからなる光ネットワークであって、各チャンネルが、他のチャンネルを介して伝達された信号とわずかに異なる波長を有する光信号を伝達する光ネットワークを考える。多数の光信号の異なる波長に一部起因して、各チャンネルは、信号強度が独特の落ち込みを示すことが予想される。このような信号強度の差のある信号がネットワークを介して伝達するのは望ましくないため、多数の信号間の信号強度を等価させるために、スペクトルコライザが好適に使用される。

【0063】図7Aは、スペクトルコライザ700の切り欠き斜視図を示し、図7Bは、線1-1に沿った断面図を示す。明快にするため、上にある（SOIウェハ200Dの）埋設された絶縁物層204Dと厚いシリコン層202Dは、図7Aに示されていない（図7Bには示されている）。スペクトルコライザ700は、第1の複数の可動ミラー720と、その一部の下に配置された溝722により多少可動になっている第2の複数のミラー710を含む。対向して間隔を置いたミラー720と710の各ペアは、光空洞を限定する。このように、スペクトルコライザ700は、間隔を置いたミラーの複数ペアで限定される複数の光空洞を有する。多数のチャンネルの光信号の波長の差は、かなり小さいので、このような光空洞の各々の形態（すなわち、ミラー厚さ、ギャップ間隔等）は同一になっている。

【0064】各ミラー710は、電接パッド708と電気的に接続されている。各電接パッド708は、制御電圧源CVSに個別に電気接続されている（個々の接続は図示しない）。同様に、可動ミラー720が限定される層206Dも、制御電圧源CVSに電気接続されている。電圧が、1つ以上の特定の電接パッド708に印加されると、対応する1つ以上の上にある稼動ミラー720が、下方へ移動する。前述したように、この移動は、

(8)

特開 2001-296483

14

ギャップGを変化させ、したがって、特定の光空洞の反射率を変化させる。

【0065】各々が独特のピーク波長を有する複数の光信号は、空洞当たり1信号が光空洞に向けられる。いずれかの特定の信号の信号強度を減少させるために、関連する空洞の電接パッド708に電圧が印加される。電圧印加がない場合反射率が最大であると仮定すると、稼動ミラーの静止位置から離れる移動はすべて、反射率を減少させる。関連する可動ミラー720は、反射信号が望ましい程度に減衰するまで、電圧の印加によって移動する。

【0066】スペクトルコライザは、好適にはコンピュータ制御され、自動フィードバックループを含む。一実施例では、信号強度は、光検出器PDで測定され、信号強度量は、コントローラ（プロセッサ）Cに送られ、セットポイントと比較される。セットポイントと光検出器PDからのデータに差が存在する場合は、制御信号CSが制御電圧源CVSに送られ、ミラーへの電圧を、個別を基本として適宜増減する。

【0067】スペクトルコライザ700は、好適には、前述した仕方であつて方法300にしたがって2つの単結晶SOIウェハから形成される。スペクトルコライザ700の製作への方法300の適用は、図7C~7Iに関して以下に説明される。

【0068】方法300の作業302にしたがって、第1のミラーが第1のSOIウェハに限定される。図7Cは、第1のSOIウェハ200Cの平面図を示し、電接パッド708を備え、薄いシリコン層206Cに限定された5個のミラー710を示す。溝712は、各ミラー710/電接パッド708を電気的に絶縁する。図7Dは、（図7Cに）示された方向の線2-2による断面を示す。図7Dは、薄いシリコン層206Cを貫通してエッチングされた溝712を示す。SOIウェハ202Cは、前述したSOIウェハと同じ構造を有し、そのため、薄いシリコン層206Cに加えて、埋設された絶縁物層204Cと厚いシリコン層202Cが存在する。

【0069】作業304にしたがって、支柱が、SOIウェハ200Cの薄いシリコン層206C上に配置される。図7Eは、ミラー710の上であつて、ミラー710を取り囲んでいる支柱716を示す。電接パッド708は、制御電圧源CVSへの電接を容易にするために支柱716の“外側”配置される。図7Fは、（図7Eに）示された方向の線3-3に沿った支柱716の図を示す。溝722（図7A参照）は、任意の作業310にしたがって形成される。

【0070】任意の作業314により、第2のSOIウェハの薄いシリコン層に開口部が形成される。図7Gは、第2のウェハ200Dの平面図であり、薄いシリコン層206Dに形成された開口部718を示す。この実施例では、開口部718は、“緩衝用穴”して機能せ

50

15

ず、むしろそれらの間の複数の領域720を限定する。領域720は、複数の可動ミラーを形成する。図7Hは、(図7Gに)示された方向の線4-4に沿った断面図を示す。開口部718は、薄いシリコン層206Dを貫通し、埋設された酸化物層204Dで終わっている。

【0071】作業306にしたがって、2つのSOIウェハは、一方のウェハの薄いシリコン層を支柱に取り付けることにより連結される。図7Iは、(図7Eに示された方向の)線5-5に沿った断面図を示し、支柱716に取り付けられたSOIウェハ200Dの薄いシリコン層206Dを示す。ミラー720は、ミラー710の上にあり、ギャップGだけ離れている。

【0072】最後に、作業308により、第2のSOIウェハの薄いシリコン層が解放されて、可動ミラーを限定する。この例では、厚いシリコン層202Dと埋設された絶縁物層204Dは、第2のSOIウェハ200Dから除去され、それにより、ミラー720が解放される(図7B参照)。

【0073】上記の例は、方法300が、複雑な多空洞光デバイスを作るためにどのように適用されるかの例示を提供する。単結晶SOIウェハは、好適には、本発明方法に関して使用される。なぜなら、他の理由の中で、薄いシリコン層は、“ゼロ”応力層であるからである。前述したように、応力層は、解放された膜のゆがみを引き起こす。また、ドーパされた単結晶シリコン等の伝導材料を用いると、電極を作るために可動ミラーに金属を付け加える必要性が回避される。さもなければ非伝導性の可動ミラーに、金属が付け加えられた場合には、可動ミラーの下部表面に集められる電荷の問題が生じる。さらに、SOIウェハの使用は、空洞等を作るために時期を合わせたエッチングの必要性が回避される。

【0074】しかしながら、本発明の他の実施例においては、単結晶SOIウェハが使用されないことが理解されるべきである。むしろ、シリコンウェハを酸化させ、ポリシリコンの薄い層を、酸化物の上に成長させることができる。しかしながら、この材料は、応力が加えられるだろう。

【0075】上述の実施例は、本発明の単なる例示であり、多くの変形が、本発明の範囲及びここに開示された原理から逸脱することなく当業者により工夫され得ることが理解されるべきである。したがって、このような変形は、付随の請求項及びそれらの同等物の範囲内に含まれるべきものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】この教示による光空洞の一実施例を示す図である。

【図2A】図1の光空洞の反射率を、ミラー間のギャップのサイズの関数をプロットして示す図である。

【図2B】本発明と共に使用する市販の絶縁物上のシリコンウェハを示す図である。

(9)

特開 2001-296483

16

【図2C】1.55ミクロン動作波長における図1に示される可動ミラーの共振周波数を、可動ミラーの直径Dおよび厚さtの関数を理論上プロットして示す図である。

【図3】この教示にしたがって光空洞を形成する例示的な方法のブロック線図を示す図である。

【図4A】図3の例示的な方法による光空洞の製作中の種々の段階における第1のSOIウェハを示す図である。

【図4B】図3の例示的な方法による光空洞の製作中の種々の段階における第1のSOIウェハを示す図である。

【図4C】図3の例示的な方法による光空洞の製作中の種々の段階における第1のSOIウェハを示す図である。

【図4D】図3の例示的な方法による光空洞の製作中の種々の段階における第1のSOIウェハを示す図である。

【図4E】図3の例示的な方法による光空洞の製作中の第2のSOIウェハの平面図を示す図である。

【図4F】図3の例示的な方法による光空洞の製作中の第2のSOIウェハの側面図である。

【図4G】互いに接合された第1および第2のSOIウェハを示す図である。

【図4H】開口部が固定ミラーの真下に形成された、本発明による光空洞の他の実施例を示す図である。

【図5A】1本または2本の光ファイバが、この教示による光空洞で光通信状態にある実施例を示す図である。

【図5B】1本または2本の光ファイバが、この教示による光空洞で光通信状態にある実施例を示す図である。

【図5C】1本または2本の光ファイバが、この教示による光空洞で光通信状態にある実施例を示す図である。

【図6A】受動的整列ガイドを形成するための2段階エッチングを示す図である。

【図6B】受動的整列ガイドを形成するための2段階エッチングを示す図である。

【図6C】受動的整列ガイドを形成するための2段階エッチングを示す図である。

【図7A】この教示による例示的なスペクトルコライザを示す図である。

【図7B】この教示による例示的なスペクトルコライザを示す図である。

【図7C】この方法による図7Aおよび7Bのスペクトルコライザの製作中の種々の段階を示す図である。

【図7D】この方法による図7Aおよび7Bのスペクトルコライザの製作中の種々の段階を示す図である。

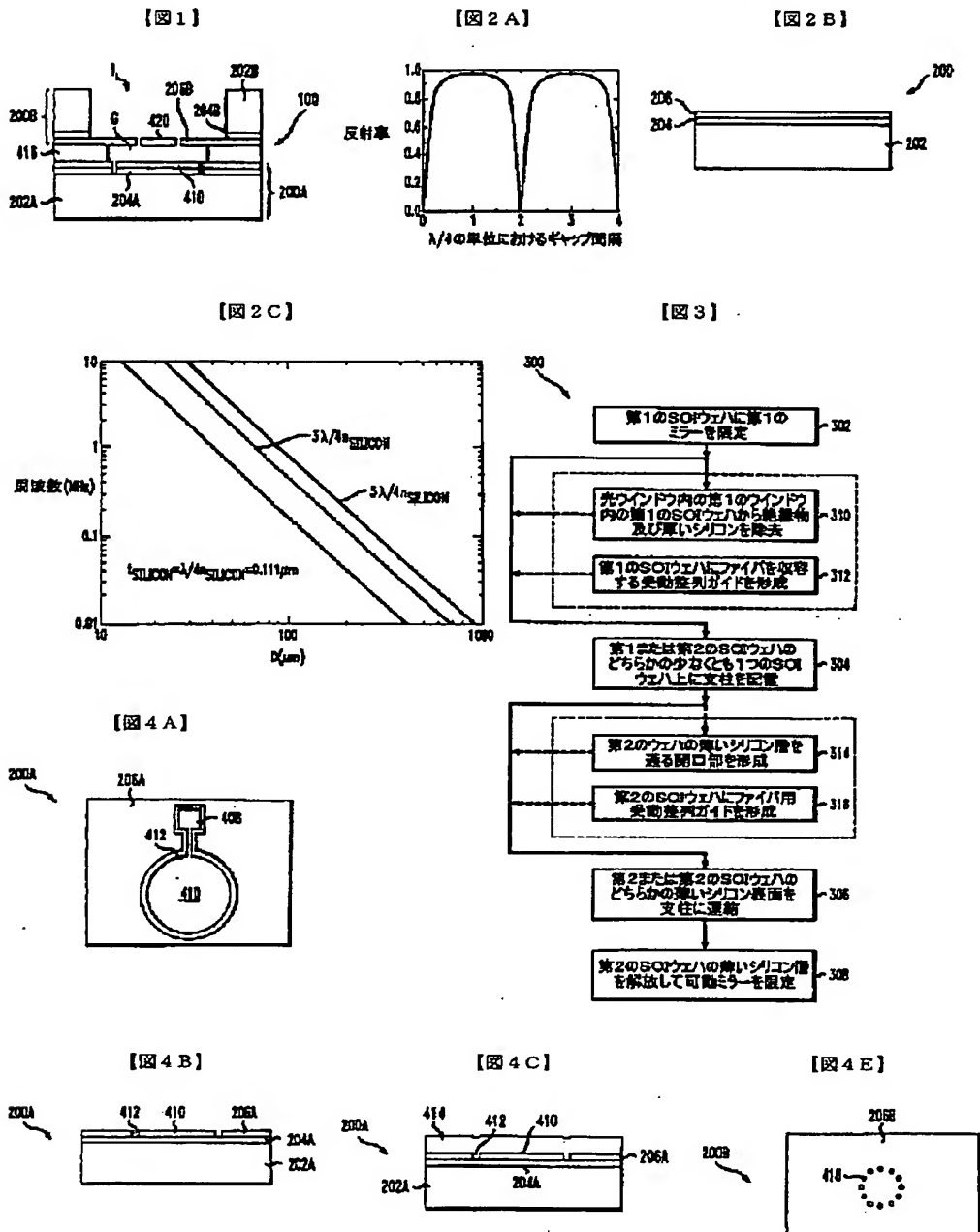
【図7E】この方法による図7Aおよび7Bのスペクトルコライザの製作中の種々の段階を示す図である。

【図7F】この方法による図7Aおよび7Bのスペクトルコライザの製作中の種々の段階を示す図である。

50

17  
【図 7 G】 この方法による図 7 A および 7 B のスペクトル  
ルイコライザの製作中の種々の段階を示す図である。  
【図 7 H】 この方法による図 7 A および 7 B のスペクトル

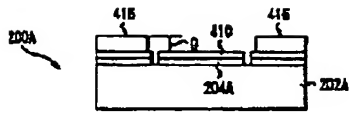
(10)  
18  
特開 2001-296483  
ルイコライザの製作中の種々の段階を示す図である。  
【図 7 I】 この方法による図 7 A および 7 B のスペクトル  
ルイコライザの製作中の種々の段階を示す図である。



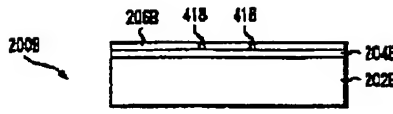
(11)

特開 2001-296483

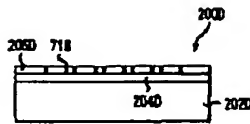
【図 4 D】



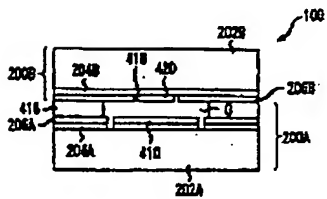
【図 4 F】



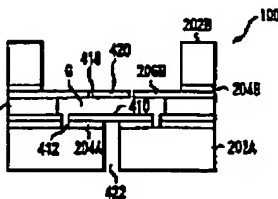
【図 7 H】



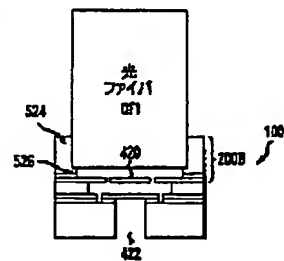
【図 4 G】



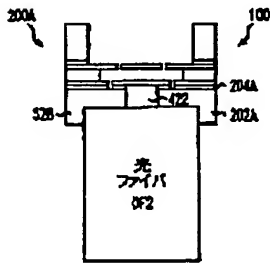
【図 4 H】



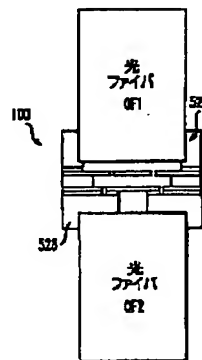
【図 5 A】



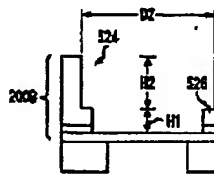
【図 5 B】



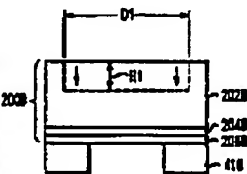
【図 5 C】



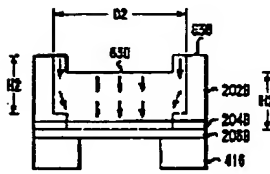
【図 6 A】



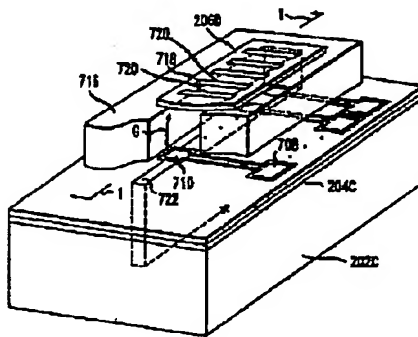
【図 6 B】



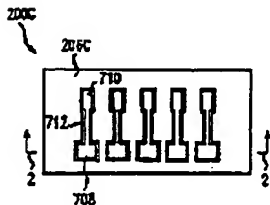
【図 6 C】



【図 7 A】



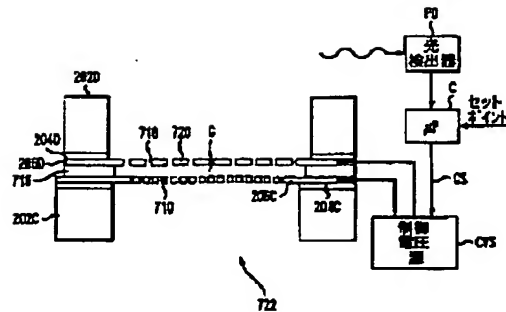
【図 7 C】



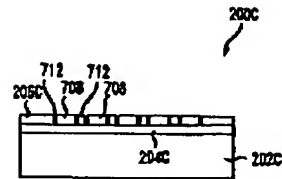
(12)

特開 2001-296483

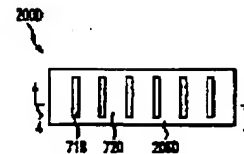
【図 7 B】



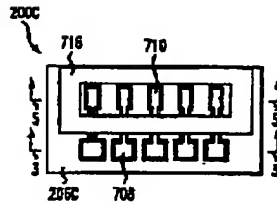
【図 7 D】



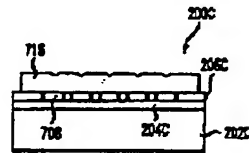
【図 7 G】



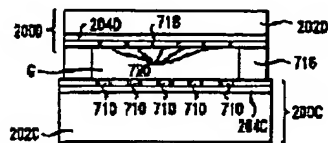
【図 7 E】



【図 7 F】



【図 7 I】



フロントページの続き

(71)出願人 596077259

600 Mountain Avenue,  
Murray Hill, New Je  
rsey 07974-0636 U. S. A.

(72)発明者 デニス スタンレイ グレイウォール  
アメリカ合衆国 06889 ニュージャージー  
イ, ホワイトハウス ステーション, サウ  
ス ライランド ロード 9